

Dějiny zeměměřictví

VÝVOJ METOD NIVELACE, TACHYMETRIE,
TRIGONOMETRIE A FOTOGRAMMETRIE

RNDr. Ladislav Plánka, CSc.

Institut geodézie a důlního měřictví, Hornicko-geologická fakulta, VŠB – TU Ostrava

*Podkladové materiály pro přednáškový cyklus předmětu „Dějiny zeměměřictví“
(jazyková ani odborná korektura neprovedena)*

11. Příkázání pro čsl. zeměměřiče

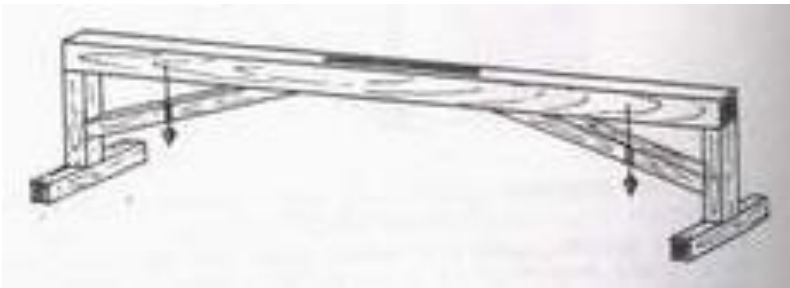


Nivelace

Nivelace

- **Nivelace** (z franc. *nivelle*, vodováha) znamená vytyčování vodorovné roviny a měření výškových rozdílů v terénu pomocí.
- Nivelace pomocí klidné vodní hladiny bylo s největší pravděpodobností použito i při stavbě pyramid, a to tak, že byl kolem staveniště pyramid vykopán příkop a ten byl naplněn vodou.
- Kdy byla přesně vynalezena vodováha, nelze zjistit, ale její princip byl znám již starým Římanům, kteří při stavbě svých akvaduktů používali malá přenosná korýtká naplněná vodou (**chorobates**).

Chorobates



Nivelace

Autor jediného zachovaného starověkého spisu o architektuře v deseti knihách „*De Architectura libri decem*“ je římský stavitel **Marcus Vitruvius Pollio** (1. st. př. n . l.).

Knihy se zabývají plánováním stavby měst a charakteristikou dobrého architekta (1), stavebními materiály (2), chrámy a sloupy (3,4), veřejnými budovami, divadly a lázněmi (5), soukromými budovami (6), vnitřními zařízeními budov (7), vodovody (8), konstrukcí vodních hodin (9) a strojnictvím, tj. sestrojováním strojů na zdvihání pevných těles a vody, i konstrukcí obléhacích a vrhacích strojů (10).

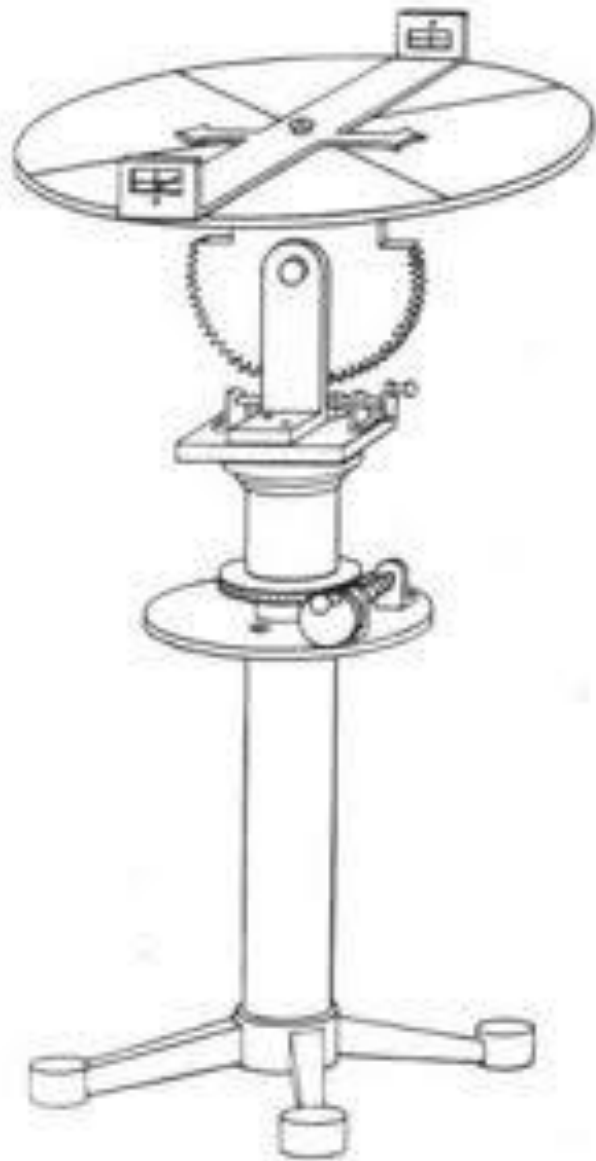
Zmiňuje se v něm o **nivelaci pomocí vodních vah** nebo přesnějších římských **chorobates**, a také o řeckých měřických přístrojích zvaných **dioptra**.

Dioptra

Při nivelaci se užívala **dioptra**, jejíž vynález (první? použití nivelace ze středu) je připisováno Héronovi Alexandrijskému (asi 10 – 70 n.l.).

Vodorovnou záměru určovala v původním přístroji vodní hladina v ramenech spojitě nádoby, jejíž kovová trubice byla zapuštěna do záměrného pravítka a její skleněné konce opatřeny skleněnými průzory.

Nivelační lať délky 10 loktů měla pohyblivý černobílý terč, který nastavil pomocník dle pokynů měřiče do výšky záměry a přečetl čtení na lati, které mohlo být vzestupné či sestupné.



ὀρθὰς τῷ μήκει τοῦ κανόνος τὸ μὲν τῶν ἡμικυκλίων λευκῶ χρίεται χρώματι, τὸ δ' ἕτερον μέλανι. ἐκ δὲ τοῦ γελωναρίου σπάρτος ἐκδεθείσα διὰ τροχίλου εἰς τὸ ἄνω τοῦ κανόνος κειμένου ἀποδίδεται εἰς τὸ ἕτερον τοῦ κανόνος μέρος, ὅπου οὐκ ἔστιν ἡ ἀσπίδισκη. εἰάν ἄρα τις τὸν κανόνα ὀρθὸν ἐάσῃ ἐπὶ τοῦ ἐδάφους, καὶ ἐπισπᾶσθαι ἐκ τῶν ὀπίσθεν μερῶν τὴν σπάρτον, μετεωρίσει τὴν ἀσπίδισκην· εἰάν δὲ ἀφῆ, κατενεχθήσεται εἰς τὸ κάτω μέρος τῷ ἰδίῳ βάρει· ἔξει γὰρ ἐκ τῶν ὀπίσθεν μερῶν ἡ ἀσπίδισκη μολιβδῶν πλάτυσμα προσηλωμένον, ὥστε αὐτομάτως

8 τροχίλου 15 ἐάση·
f. στήση 19 μετεωρίση
21—25 ὀπίσθε

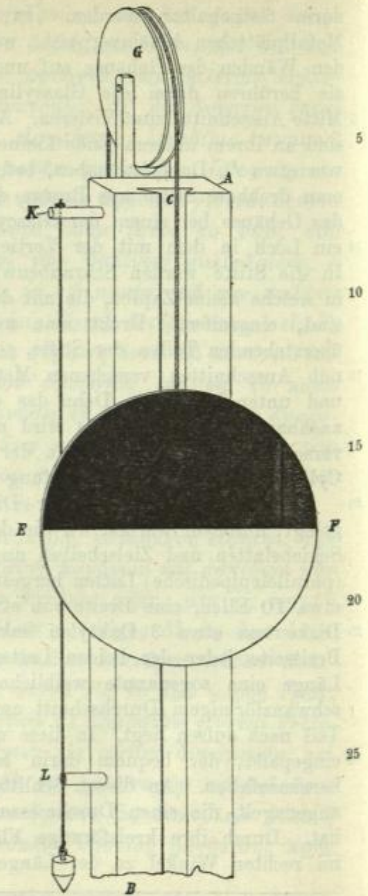


Fig. 85 a.
Schiebelatte (Vorderansicht).

Srovnej: Nivelační dioptr

Nivelační dioptr je jednoduchá pomůcka (průzor) s nivelační libelou k hrubému nivelování latí s posuvným terčem, délka záměry je maximálně 30 m.



Nivelace

- **Giovanni Branca** z Říma (autor návrhu parního vozidla) využil roku **1629** hadicovou vodováhu k nivelaci. K rozšíření však přispěl až roku **1849 Geiger** ve Stuttgartu montáží gumových hadic.
- Roku **1661** vynalezl Francouz **Melchisédech Thévenot (1620 – 1692)** moderní funkční vodováhu vyrobenou z jednoduše ohnuté skleněné trubičky. Trubicovou libelu (lat. libra, tj. váha) zkonstruoval roku 1662. Proti dnešním libelám byla dosti nepřesná. Trubice byly totiž používány v takovém stavu, v jakém vyšly ze sklárny, tedy bez pravidelného zakřivení.
- Výbrus zakřivení byl zaveden až koncem 18. století, **odkdy již lze tvrdit, že libela má geodeticky použitelnou formu.**

Nivelace

- Francouzský inženýr Lebion vynalezl první nivelační přístroj, tj. spojil dalekohled a libelu, v roce 1684 (srovnej dále).
- V principu jsou tedy nivelační stroje složeny z **dalekohledu** a **libely**, jejichž osy jsou vzájemně rovnoběžné. To znamená, že při urovnání libely je záměrná osa dalekohledu také vodorovná.
- Nivelační stroje jsou charakterizovány citlivostí libely, pohyblivostí její bubliny a zvětšením dalekohledu.

Nivelace

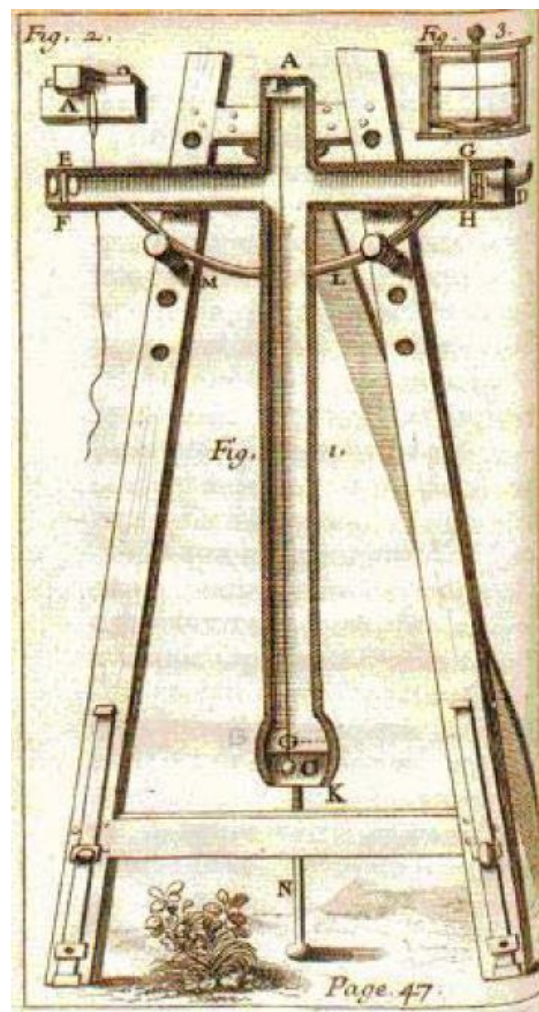
Zvýšený zájem o výšková měření vyvolávala od 17. století potřeby **stavby průplavů s plavebními komorami, gravitačních vodovodů aj.**

Pro tyto účely navrhl **J. Picard** (1620 – 1682) autor spisu „**Traité du nivellement**“ vydaného roku 1689, závěsný nivelační přístroj ve tvaru obráceného T, který se samočinně urovnával vlivem gravitace. Jako první (srovnej viz výše) vybavil přístroj tohoto použití dalekohledem.

Konstrukční délka přístroje byla asi 1,3 m a jeho přesnost 1: 36 000 délky záměry.

Relativně velmi vysoké přesnosti dosáhl aplikací **metody nivelace vpřed v obou směrech, aby vyloučil chybu z nedokonalého urovnání přístroje.** K přístroji příslušela lať s posuvným terčem.

Picardův nivelační přístroj



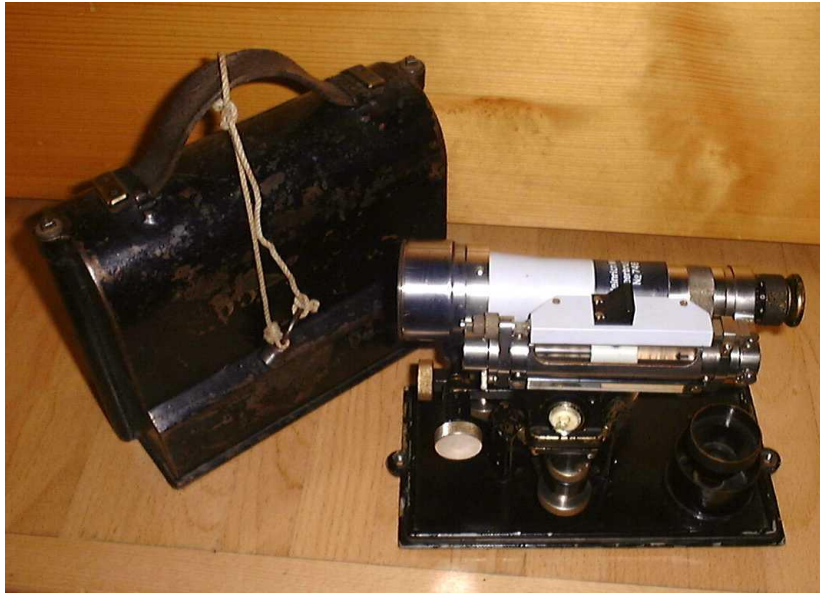
Nivelace

- Obdobnou konstrukci popsal 1680 **Ch. Huygens** (1629 – 1695). Konstrukce jeho nivelačního přístroje byla zvláštní tím, že se **dalekohled automaticky urovnával do vodorovné polohy závažím ponořeným do nádoby s olejem (předchůdce kompenzátoru)** a že měl možnost rektifikace nitkového kříže.
- **Nicolas Bion** (1652 – 1733) v 1. vydání své práce „*Traité de la construction et des principaux usages des instrumens de mathématique*“ z roku 1709 popisuje konstrukce nivelačních přístrojů opatřených **trubicovou libelou ve spojení s průzorem nebo dalekohledem a elevačním šroubem.**

Wild

- Nivelační přístroje navržené **Heinrichem Wildem** (1877 – 1951), byly prvními geodetickými přístroji vyráběnými v původně optické dílně **Carl Zeiss v Jeně**. Wild zde navrhnul 3 typy nivelačních přístrojů vyznačujících se novými originálními konstrukčními myšlenkami (konstrukce vnitřní zaostřovací čočky, hranolový systém ke koincidenčnímu pozorování libely a ochranné typy stavěcích šroubů).
- Wildovy nivelační přístroje později vyráběla jak firma Zeiss, tak **Wildův vlastní závod založený roku 1921 v Heerbrugu** ve Švýcarsku. Po rozchodu se svou vlastní firmou (1922) zahájil Wild spolupráci s firmou **Kern v Aarau** (dnes firmy spojené pod názvem **Leica**).

Wild



Wild NII (1923)



Wild N2 (1937)



Wild NK05 (1974)

Nivelace

- Souvislé nivelační práce byly zahájeny na území Evropy roku 1867 na podnět Mezinárodního sdružení pro měření země (nyní Mezinárodní unie geodetická geofyzikální).
- V roce 1883 byla založena *Service du nivellement général de la France* zásluhou profesora Ch. Lallemanda. Ovlivnila vývoj evropských nivelací. Prof. Lallemand opracoval vyjádření nivelace na sférické ploše a zkonstruoval přístroj pro určení střední mořské hladiny **medimaremeter**.
- Nejprve byla vybudována síť základních bodů, která měla sloužit účelům vědeckým, ke studiu pohybu zemských vrstev, změn v zemské kůře atd.



*Normaal
Amsterdams Peil
(NAP)*

Základní nivelační body

Terst, Molo Sartorio



Základní nivelační body



Kronstadt

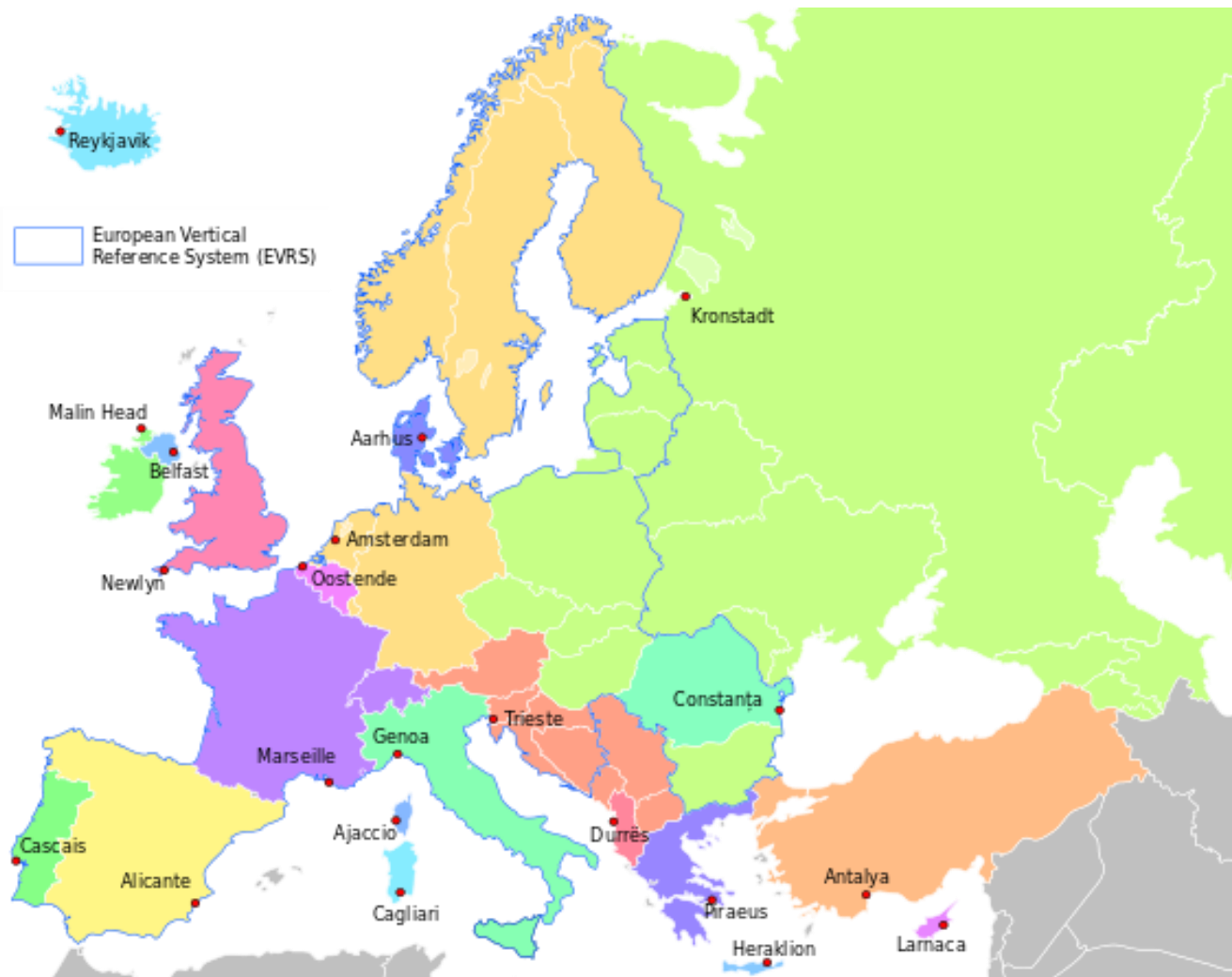


Cascais



Tokyo Peil (T.P.)

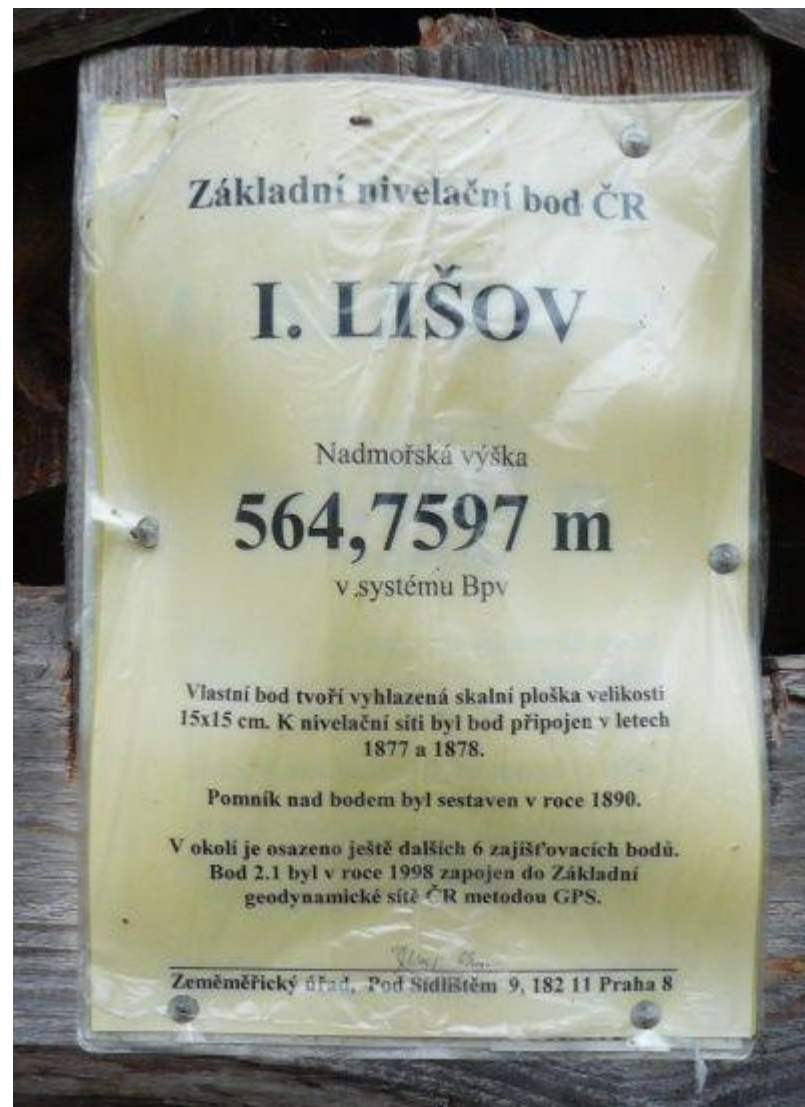
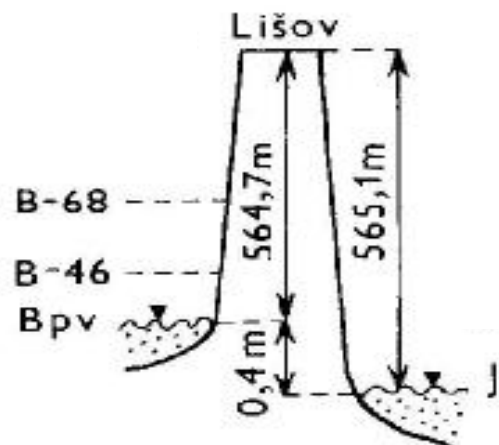
Výškové systémy v Evropě



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vertical_references_in_Europe.svg

Nivelace

- V Terstu na Molu Sartoriu byl osazen do zdiva budovy „celnice“ základní bod pro nivelační síť 3,356 m nad střední hladinou Jaderského moře. V průběhu pozorování se několikrát změnil typ mareografu i jeho vlastní umístění na vlastním molu.
- Odtud postupovaly nivelační pořady všemi směry, podél železničních tratí nebo silnic. Na místech, kde bylo předpokládáno, že nenastanou posuny zemských vrstev, v oblastech prahorní žuly nebo ruly, byly ve skalách vybudovány **základní nivelační body**, a to:
- Ruše (dříve Maria Rast) v dnešním Slovinsku, Nadap (Maďarsko), Průsmyk Červená Věž (Rumunsko), Lišov (Česká republika), Strečno na Slovensku a Trebušany v dnešní Ukrajině.



Základní nivelační bod
Lišov

ZNB

- Po roce 1918 byly k dispozici na území Československa základní nivelační body:
 - Lišov (564,7597 m, Bpv/ 565,1483 m, JS)
 - Strečno (371,0012 m, JS) a
 - Trebušany (367,6209 m, JS).
- Na území dnešní ČR byly po roce 1920 vybudovány další čtyři základní nivelační body:
 - Mrač (332,759 m),
 - Vrbatův Kostelec (378,098 m),
 - Vlaské (450,509 m) a
 - Želešice (210,552 m).

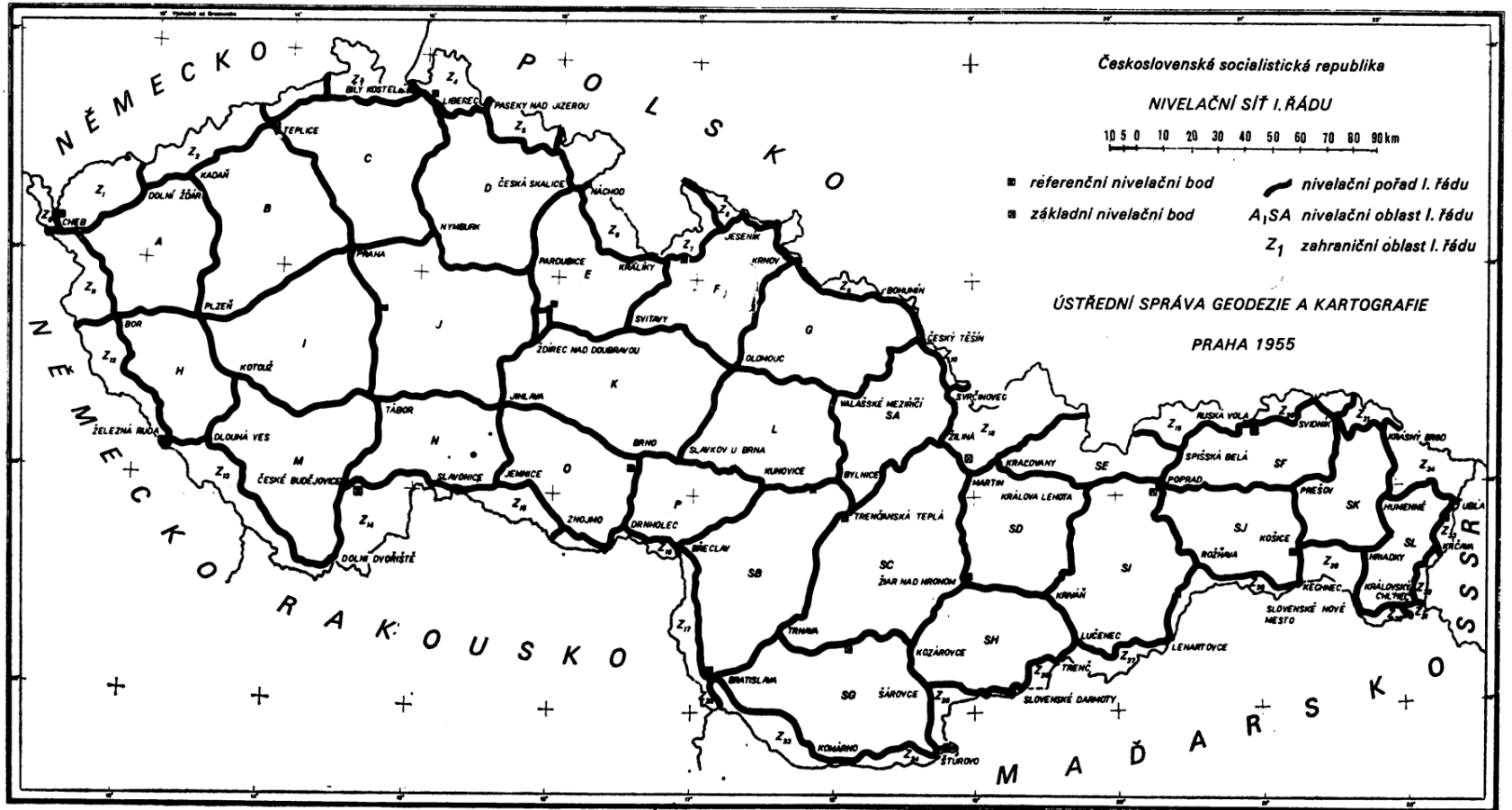
Nivelace

- Rakousko–Uherská nivelační síť byla zkvalitňována, zhušťována a doplňována Ministerstvem veřejných prací (1920, název **Československá jednotná nivelační síť**).
- Vážné nedostatky měly být řešeny vybudováním nové sítě, v roce 1938 však začala válka (okupace Českých zemí) a do roku 1945 byl budován německý systém s nulovým bodem v Amsterdamu a základním bodem v Potsdamu u Berlína.
- Výšky měly označení V_{NN} (normal null), po roce 1945 byly zrušeny.

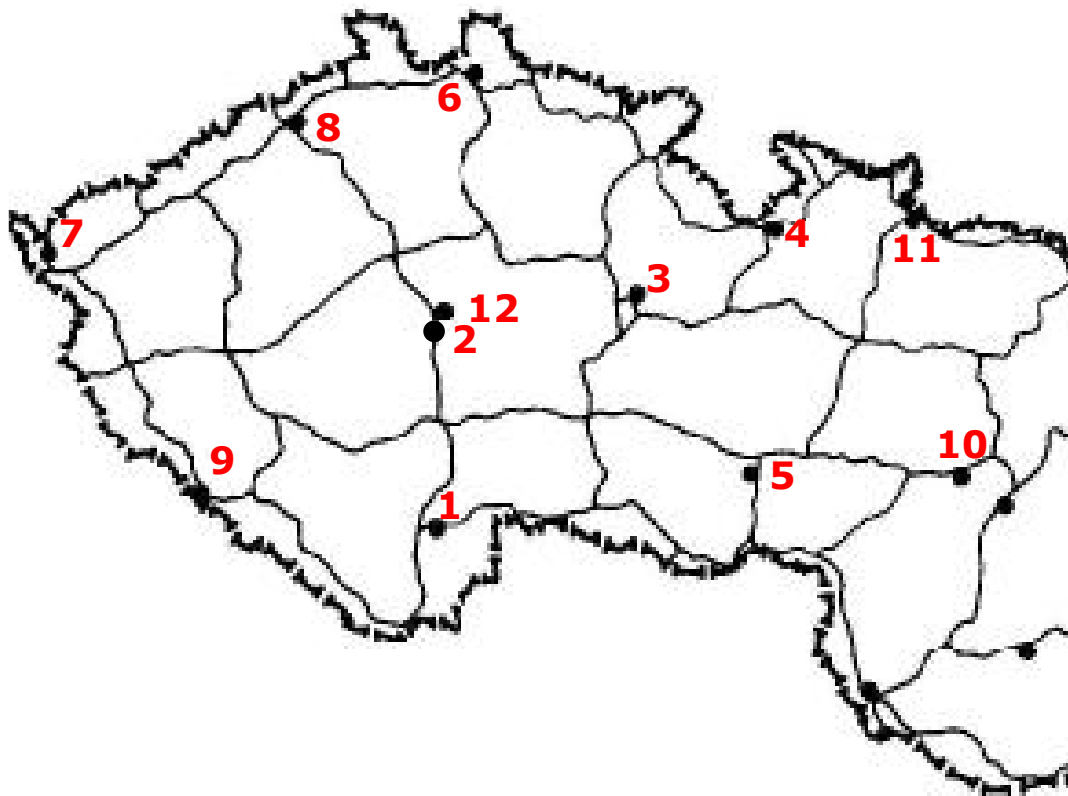
Nivelace

- Postupně byla významně zkvalitňována **Československá jednotná nivelační síť** - převzata byla některá předchozí měření a uskutečněna nová, používány byly normální ortometrické korekce, síť byla budována ve více řádech, I. řád měl dle pozdějšího hodnocení přesnost cca 0,9 mm/km.
- I. řád se skládal z celkem 27 uzavřených polygonů a pohraničních pořadů o celkové délce 6100 km, nivelačních bodů je cca 15 000, použitá metoda velmi přesná nivelace. Stabilizováno celkem 22 základních bodů vyhlazenou ploškou na pevné skále.
- Základních nivelačních bodů bylo v celém Československu zřízeno 23 (Základní nivelační bod Pecný je poslední), na území České republiky je jich 12.

Nivelace



Základní nivelační body ČR



1.	Lišov
2.	Mrač
3.	Vrbatův Kostelec
4.	Vlaské
5.	Želešice
6.	Svárov
7.	Žirovice
8.	Teplice
9.	Železná Ruda
10.	Bojkovice
11.	Krnov
12.	Pecný

Výškové systémy

Výškový systém	Střední hladina moře	Základní nivelační síť	Tíhové korekce	Vyrovnání sítě
Jaderský — Lišov	Jaderského	Doplněná nivelační síť z doby před rokem 1918	normální ortometrické	Na území Čech a Moravy
Jaderský — Strečno	Jaderského	Síť I. řádu Vojenského zeměpisného ústavu	normální ortometrické	Na území Slovenska
Jaderský — ČSJNS	Jaderského	Síť I. řádu Československé jednotné nivelační sítě	normální ortometrické	V roce 1949 v českých zemích, v roce 1952 na Slovensku i celá ČSSR
Baltský — B-68	Baltského	Síť I. řádu Československé jednotné nivelační sítě	normální ortometrické	Výšky vypočteny odečtením 0,68 m od výšek jaderských
Baltský — B-46	Baltského	Síť I. řádu Československé jednotné nivelační sítě	normální ortometrické	Výšky vypočteny odečtením 0,46 m od výšek jaderských
Baltský — po vyrovnání Bpv	Baltského	Síť I. řádu Československé jednotné nivelační sítě	normální (Moloděnského)	Mezinárodní, v rámci socialistických států

Triangulace

Trigonometrie x triangulace

- **Trigonometrie** (z řeckého *trigónon*, trojúhelník a *metrein*, měřit) je oblast goniometrie zabývající se užitím goniometrických funkcí při řešení úloh o trojúhelnících.
- Trigonometrie má základní význam při **triangulaci**, která se používá k měření vzdáleností (mezi dvěma hvězdami, dvou bodů apod.).

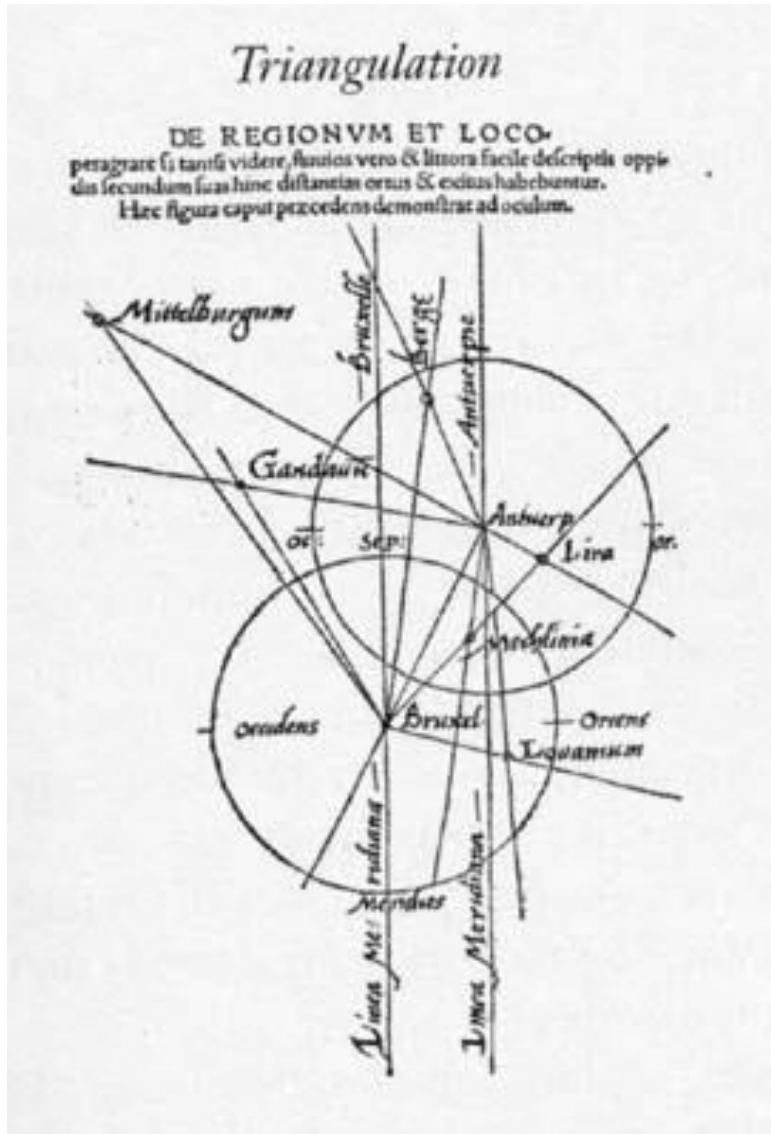
Trigonometrie

- O rozvoj trigonometrie se zasloužili Babyloňané, Chaldejci, Egypťané a zvláště pak Arabové.
- Evropa se s trigonometrií seznámila díky západním Arabům.
- K rozvoji trigonometrie významně přispěli např. polský astronom **Mikuláš Koperník**, francouzský matematik **François Viète** (kosinová věta v trigonometrické podobě).
- Dnešní podobu trigonometrie jakožto vědu o goniometrických funkcích ve svém díle „*Introductio in analysin infinitorum*“ (Úvod do analýzy) vytvořil **Leonhard Euler**.

Triangulace

- Zásahu o rozvoj astronomie a geodézie má vlámský matematik **Regnier Gemma Frisius** (1508 – 1555), který v práci „*Libellus de locorum describendorum ratione*“ (1533) popsal určování polohy měst měřením osnovy vodorovných úhlů ze dvou míst daných zeměpisnými souřadnicemi.
- Tuto metodu, kterou lze pokládat za prvopočáteční stadium triangulace, prakticky předvedl.

Triangulace



Frisiův diagram z roku 1533 zavádí myšlenku triangulace. Po definování parametrů základní linie, spojující např. města Bruselu a Antverp, lze nalézt umístění jiných měst, např. Middelburgu, Ghentu atd., na průsečíků jejich azimutů určených na obou koncích základní linie.

To byla jen teoretická prezentace konceptu - v důsledku topografických omezení, je možné vidět Middelburg buď z Bruselu či Antverp.

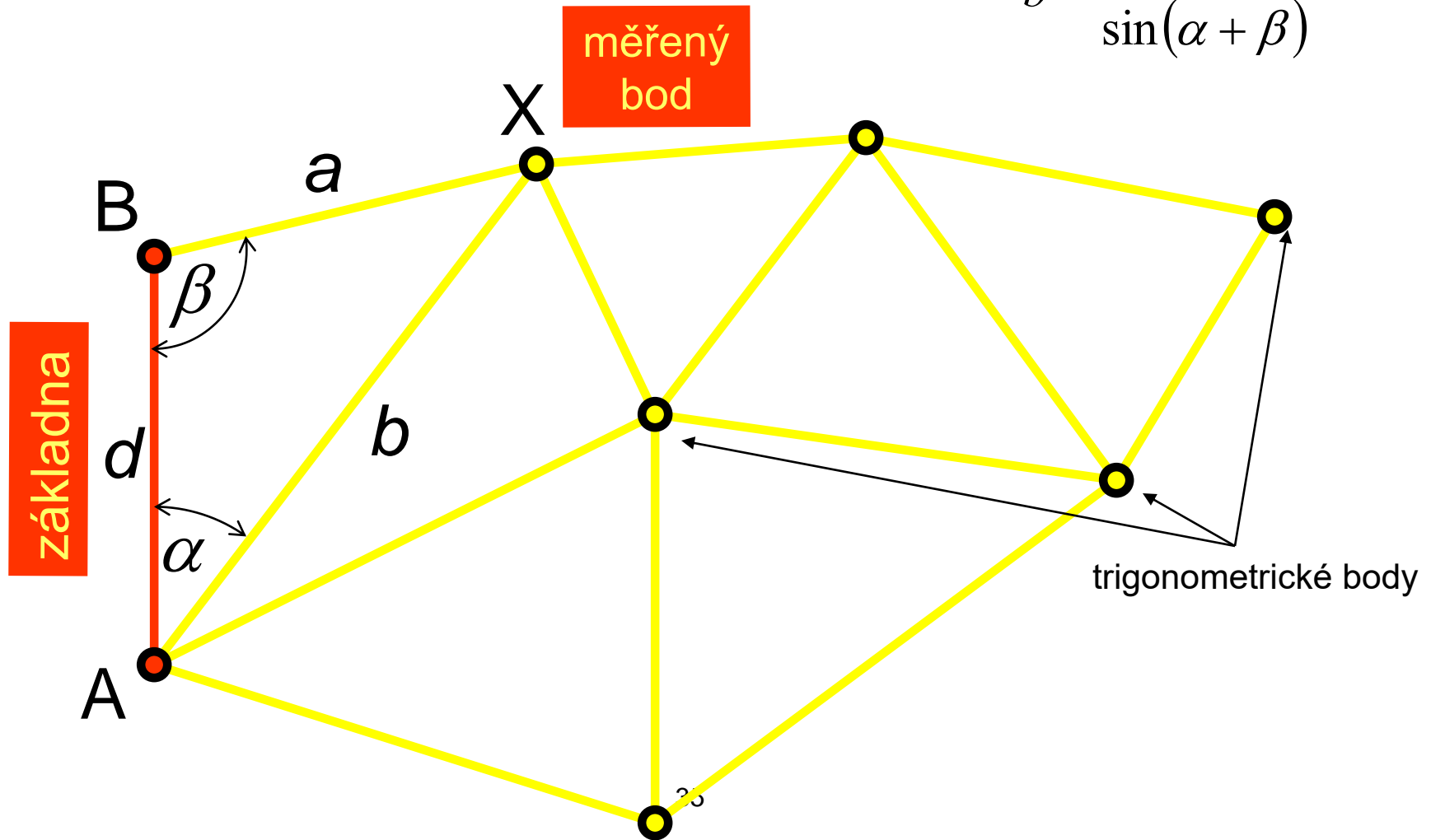
Triangulace

- Mezníkem ve vývoji geodézie se stalo první použití trigonometrické sítě.
- Holandský matematik **Willebrord Snellius** (**Willebrord Snel van Royen**, 1580 – 1626) v letech 1615 – 1622 poprvé určil délku meridiánového oblouku výpočtem z trigonometrické sítě.
- Jím použitá síť měla 13 vrcholů a celkem 3 základny. Při výpočtech se však dopustil početních chyb. Podle pozdější revize vychází obvod zemský 40 016 000 m.
- Jeho spis o trigonometrii („*Doctrina triangulorum*“) byl vydán až rok po jeho smrti.

Triangulační síť

$$a = \frac{d \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

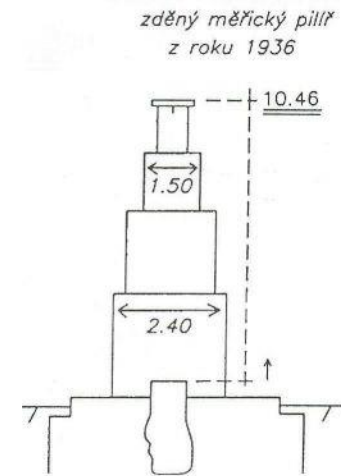
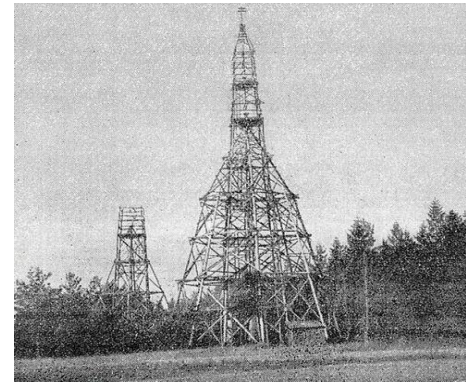
$$b = \frac{d \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$



Trigonometrické body



Měřické věže



Trigonometrické body jsou v terénu zajištěny kamennými hranoly a nejdůležitější body jsou zvýrazněny.

Triangulace

Josef Liesganig provedl potřebná astronomická a geodetická měření pro stupňová měření na území rakouského císařství v letech 1759 – 1768.

Řetězec 22 trojúhelníků s jednou délkovou základnou u Vídeňského Nového Města vedl od kaple sv. Kříže v obci Soběšice (5 km severně od Brna) přes Vídeň a Štýrský Hradec až k Varaždínu v Uhrách, dnes severní Chorvatsko u hranic s Maďarskem (**jednalo se o první triangulaci provedenou na našem území**).

Výsledkem jeho měření a výpočtů bylo určení délky 1° poledníku v zeměpisné šířce asi 48° , jejíž hodnota byla 111,256 km.

První trigonometrický bod



Název „Ostrá horka“ se vztahuje k celému kopci, samotná kóta je značena „Strom“ (Brno-Soběšice)

Polohové základy ČR

- **Katastrální triangulace** na území rakouského císařství (1821 – 1864) vznikla první souvislá síť I. řádu, po svém zhuštění se stala podkladem katastrálního mapování.
- **Vojenská triangulace** (Rakouská vojenská síť) na území Rakousko-uherské monarchie (1862-1898).
- **Jednotná trigonometrická síť katastrální** (S-JTSK) na území Československa (1920-1957).
- Souřadnicový systém 1952 (S-52).
- Souřadnicový systém 1942 (S-42).
- Souřadnicový systém 1942/83 (S-42/83).
- Souřadnicový systém S-JTSK/95.
- Souřadnicový systém WGS84.

Katastrální triangulace

- **Ludwig August svobodný pán von Fallon** (1776 - 1828 Vídeň), významný zeměměřič a kartograf byl mj. autorem instrukcí pro vojenskou i katastrální triangulaci („*Instruktion der Militär- und Katastral-Triangulierungsdirektion*“).
- Od roku 1806 se jako spoluvůrce účastnil druhého vojenského mapování, kterému předcházelo budování triangulační sítě, která byla poprvé systematicky aplikována právě Fallonem. Jako délkovou základnu triangulace zvolil úsek Wiener Neustadt-Neunkirchen.
- Roku 1825 převzal vedení vojenské triangulační komise (*Militärische-Triangulierungskommission*). V této funkci **propojil vojenská měření s civilními.**

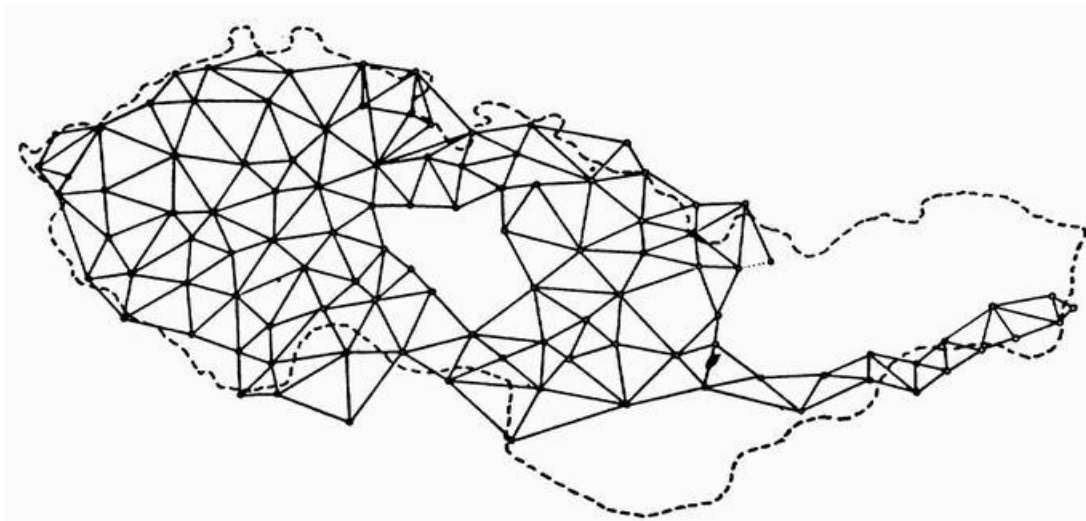
Katastrální triangulace

Pod Fallonovým vedením byly vyhotoveny geodetické základy na velké části rakouského císařství. Jednalo se o:

- zaměření 300 bodů prvního řádu a určení jejich přesné zeměpisné šířky a délky,
- výpočet rohů souřadnic více než 200 mapových listů,
- redukce výškových rozdílů mezi geodetickými body na velké část Čech, Moravy, Dolního Rakouska a Vnitřních Rakous,
- matematické vyrovnání triangulačních sítí se zohledněním fyzikálních nepřesností měření (refrakce) přibližně na 1000 měření,
- vedení seznamu triangulačních bodů s údaji o souřadnicích, směrovém uzávěru a místopisem bodu a
- zavedení výškových kót do tiskových předloh topografických map.

Vojenská triangulace

Triangulace v Čechách se prováděla v letech 1862 – 1873, na Moravě skončilo v roce 1883.



Astronomická triangulace

- Po II. světové válce se zrodila nová astronomická metoda zvaná hvězdná (kosmická či astronomická) triangulace.
- Její počátky sahají do 30. let 20. století, kdy bylo poprvé použito světelných signálů k trigonometrickému přemostění pevnin na vzdálenost asi 200 km (tzv. triangulace na vysoké cíle).
- Při této metodě sledovali pozorovatelé nitkovým křížem teodolitu světelný signál a v okamžiku sděleném rádiovým impulsem, provedli úhlové čtení.
- Další inovaci v astronomické triangulaci přineslo využití umělých družic Země.

Triangulační přístroje

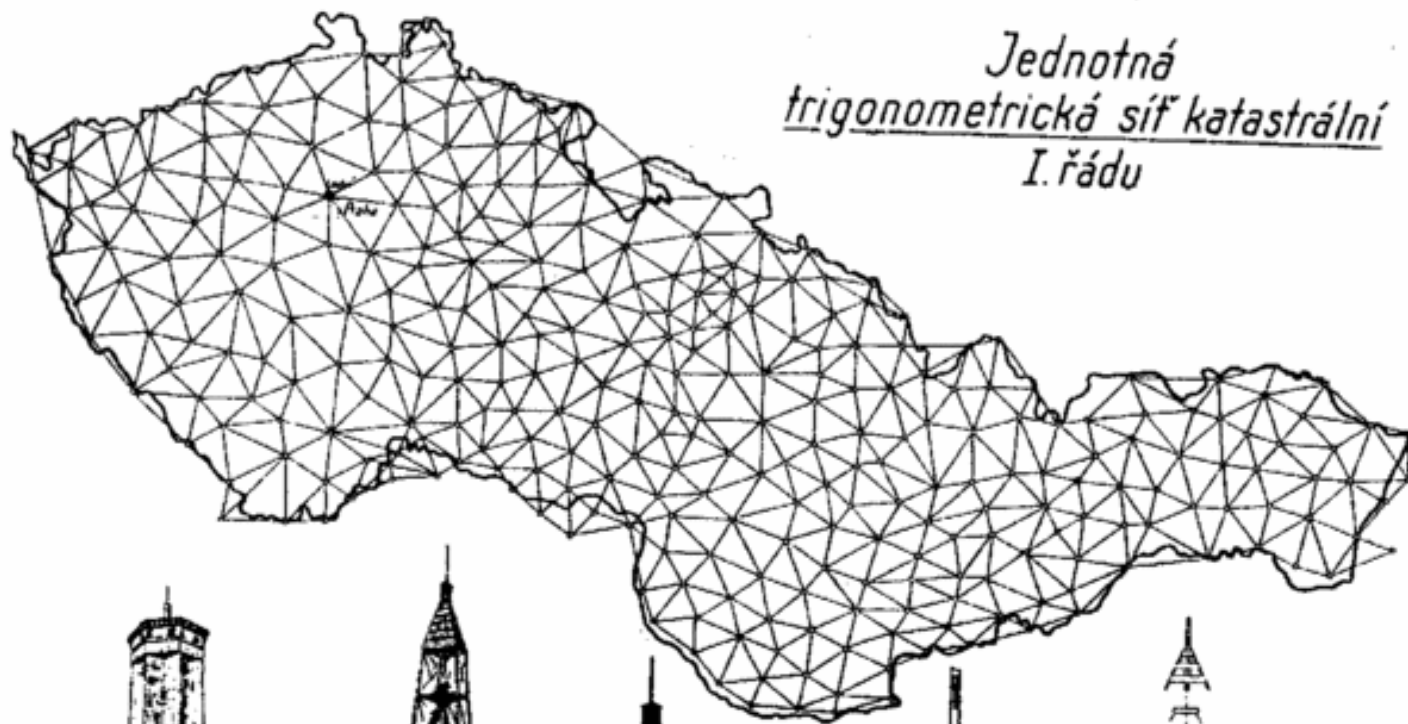
- **J. Bürgi** zhotovil v roce 1609 pro Wilhelma IV., lankraběte Hessenského, triangulační přístroj pro měření výšek a délek s mechanickým vyhodnocením na podkladě podobnosti trojúhelníků.
- Značný pokrok v triangulaci a v rozvoji potřebných triangulačních přístrojů a pomůcek přineslo **spojení mezi hvězdárnou v Paříži a Greenwichi uskutečněné v letech 1784 - 1787** a tzv. Velké francouzsko-španělské stupňové měření zahájené v roce 1792.
- **Měření spojovacího triangulačního řetězce se stalo zároveň otevřenou soutěží o vítězství anglického teodolitu nad úhломěrnými přístroji, které doposud používali Francouzi.**
- Wildovy teodolity (typy T3, T4), vzniklé kolem roku 1930 zvětšením předcházejícího typu teodolitu spolu se zlepšením jeho optických vlastností, byly určeny k triangulaci 1. a 2. řádu.

Triangulace v Československu

- V roce 1919 tedy byla zřízena triangulační kancelář, která dostala za úkol vybudovat po celém území republiky za krátkou dobu "Jednotnou trigonometrickou katastrální síť" do délky stran cca 5 km.
- Tento úkol nakonec probíhal ve třech etapách od roku 1920 až do roku 1957.
 - Zaměření „Základní trigonometrické sítě I. řádu“ (1920-1927),
 - Zaměření a zpracování „JTS I. řádu“ (1928-1937),
 - Zaměření a zpracování ostatních bodů JTS (II., III., IV., a V. řádu (1928-1957).

Bohužel však nebyla provedena nová astronomická měření, nebyly měřené geodetické základny a JTS nebyla spojena se sítěmi sousedních států (s výjimkou napojení na německou síť za války).

Trigonometrická síť z roku 1936



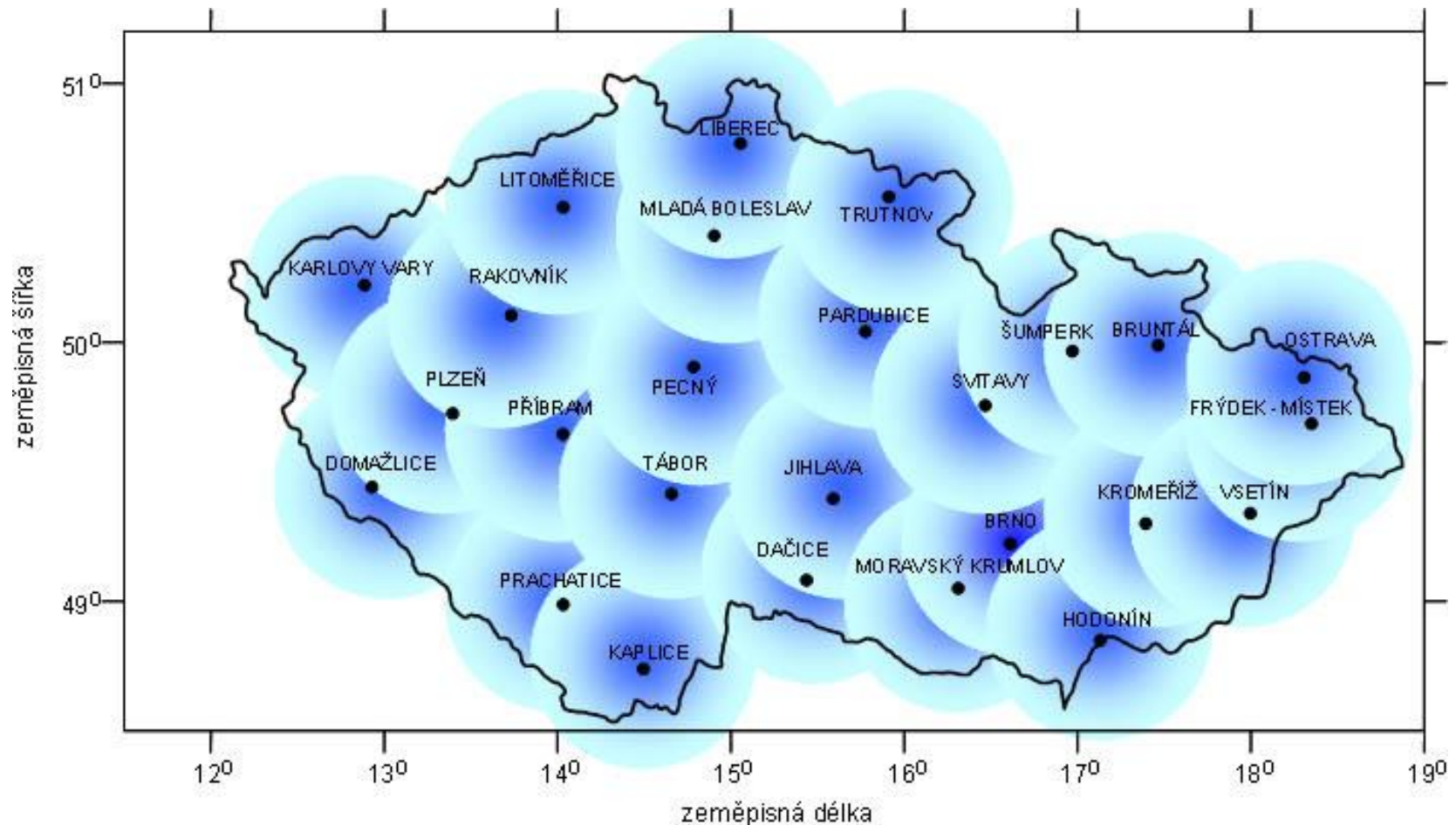
*Jednotná
trigonometrická síť katastrální
I. řádu*



Vytýčení a zajištění trigonometrických bodů katastrálního vyměřování

Trigonometrická síť

V České republice je výchozím bodem trigonometrický bod Pecný (leží na jihovýchodě od Prahy).

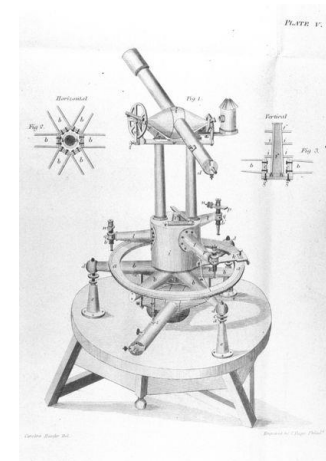


Trigonometrický bod 10, Pecný

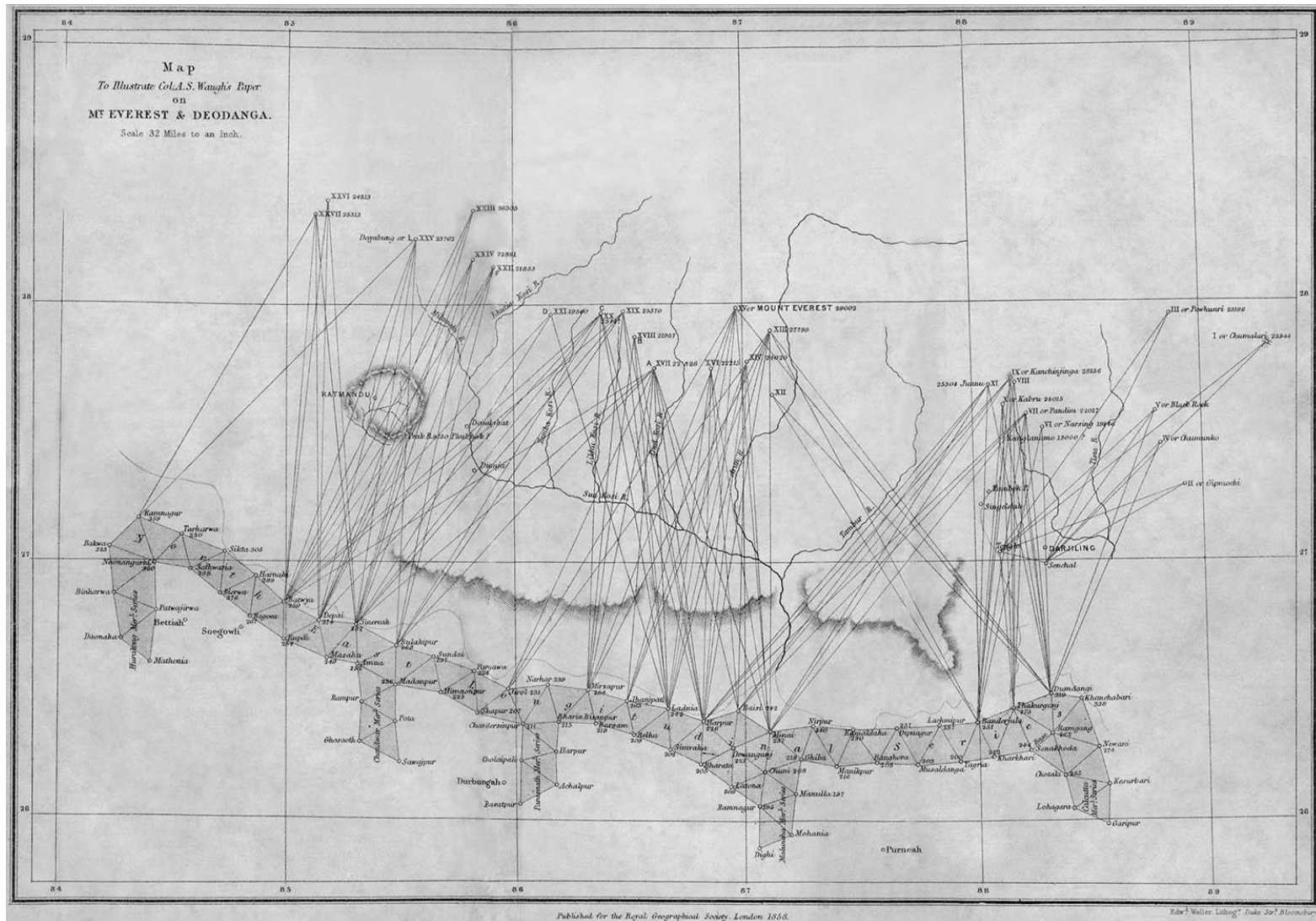


ZNB XII, Pecný

Trigonometrická síť



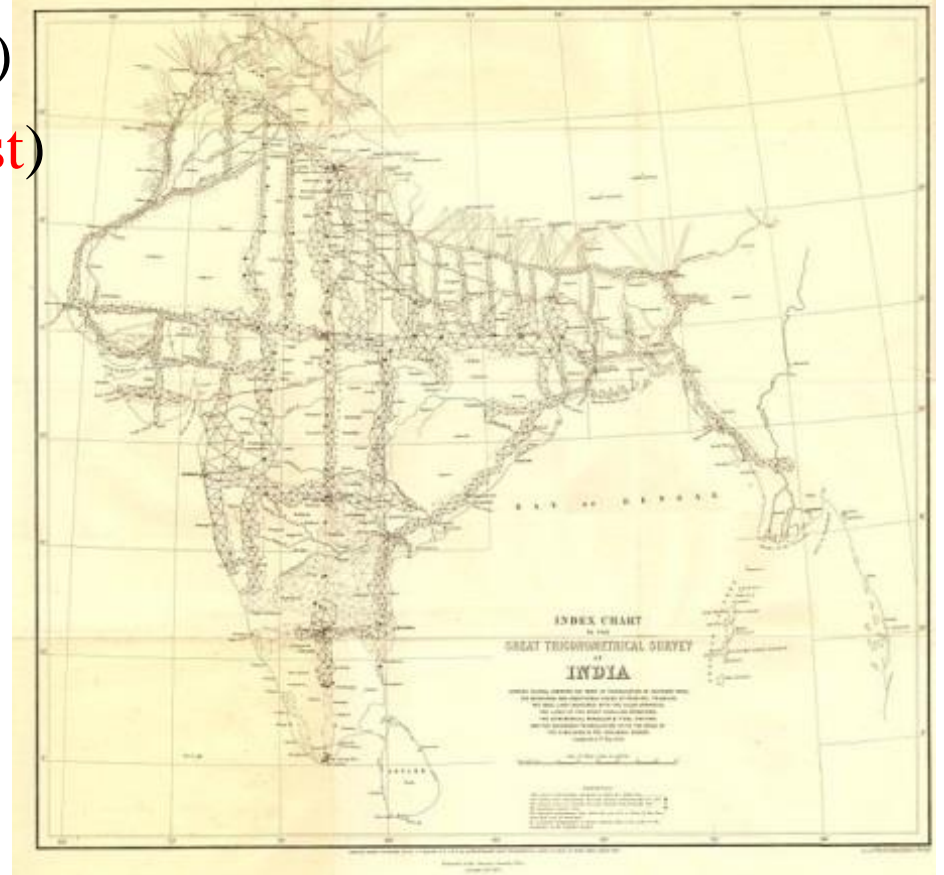
Trigonometrické určování výšek



První tištěná (leden 1858) mapa s názvem Peak XV (později označeném jako Mount Everest (Royal Geographical Society, <http://alpinedrome.wordpress.com/tag/alexander-cunningham/>))

Great Trigonometrical Survey, 1800 – 1913

- 1818–1823 (William Lambton)
- 1823–1843 (Sir George Everest)
- 1843–1861 (Andrew Scott Waugh)
- 1861–1884 (James Thomas Walker)
- 1885–1911 (Sidney Gerald Burrard)
- 1912–1921 (Sir Gerald Ponsonby Lenox-Conyngham)



Great Trigonometrical Survey, 1800 – 1913

- Základní profilová linie pro měření byla dlouhá 11,25 km a byla změřena s přesností 1,25 cm.
- Délky byly měřeny pomocí dřevěných hranolů dlouhých 305 cm, které byly pokládány na zem (na délku linie 11,25 km byly položeny 10 000 krát).
- Na počátečním a koncovém bodě strany vytyčovaného trojúhelníka (délka strany cca 60 km) byly postaveny zděné věže 8-15 m vysoké.
- Uvnitř nich byl na podlaze bod trigonometrické sítě. Na tyto věže byl usazován speciálně zkonstruovaný teodolit (váha 550 kg, průměr kruhu měl 36 palců = 95 cm), který byl olovníci centrován nad trigonometrický bod.
- Byly měřeny úhly mezi věžemi a jedna strana trojúhelníku.

Great Trigonometrical Survey, 1800 – 1913



Tachymetrie

Tachymetrie

- Roku 1674 **G. Montanari** navrhl nitkový dálkoměr se soustavou 12 – 15 vláken (další konstrukce: - 1771 J. Watt, 1778 Green).
- Základ nitkových dálkoměrů položili 1813 **bratři Liebherrové**, podle návrhu George von Reichenbacha zhotovili v Mnichově pro královskou katastrální komisi 12 nitkových dálkoměrů – předchůdců tachymetrů.

Hledala se nová metoda jak z jednoho stanoviště přístroje nového typu jedním zacílením na bod určit jeho prostorové souřadnice. Počátkem 19. století bylo známo měření délek pomocí dálkoměru a trigonometrická nivelace. Chyběl však přístroj, kterým by se dalo provést oba úkony najednou.

- Základy tachymetrie položil Ital **I. Porro**, vývoj završili Francouz **J. Moinot** a jeho mechanik **Richer**.

Tachymetrie

V roce 1823 se v Itálii vznikla a velmi rychle se do Francie a Německa rozšířila **tachymetrie (rychloměřictví, *Cellere mensura*)**, a to zejména pro potřeby trasování drah, zásluhou tehdy ženijního majora **Ignazia Porro**.

Ten vyráběl důmyslné tachymetry, chráněné před „všetečným pozorováním“ (odtud též název *clepscykel, cleps*) v Miláně a v Paříži, ale proto i komplikované.

Další vývoj ovlivnil inženýr **J. Moinot** a pařížský mechanik **Richter**, kteří běžný teodolit doplnili nitkovým dálkoměrem (**nitkový kříž dalekohledu je doplněn o tzv. dálkoměrné rysky, resp. nitě**) a tím ho změnili na dosud dobře známý **tachymetr**.

Tachymetrie

- Roncagli a Urbani vyslovili jako první myšlenku (1890) optické autoredukce nitkových tachymetrů.
- Na tuto myšlenku navázal v roce 1894 **Ernst Hermann Heinrich Hammer** (1858 – 1925), profesor geodézie ve Stuttgartu a rozšířil ji ještě o diagram pro určování převýšení, takže úplně odpadlo čtení svislého úhlu.
- V roce 1899 se spojil s firmou Otto Fennel v Kasselu a vytvořil první autoredukční diagramový tachymetr zvaný Hammerův a Fennelův.
- **V Čechách je tachymetrie používána od roku 1865.**

Dálkoměry *(viz i předcházející prezentace)*

- Pravítkové dálkoměry sloužily k úplnému nebo částečnému výpočtu tachymetrických rovnic, tj. k výpočtu převýšení a vodorovné délky.
- Dotykové dálkoměry fungovaly na mechanickém principu vytvoření dálkoměrného úhlu.
- Logaritmické dálkoměry zhotovil Ing. A. Tichý (1843 – 1923) a vyráběla je firma Rost. Ve 2. polovině 20. století obdobný typ vyráběl bez většího úspěchu Zeiss Jena (typ LOTA).
- V československé praxi byl velmi oblíbený typ Zeiss DAHLTA.

Tachymetry

Tachymetry jsou přístroje, které slouží k současnému určování horizontální polohy a výšky bodů. Jejich princip spočívá v určení polohy bodu v prostoru polárními souřadnicemi (orientovaný úhel, vodorovná délka) a převýšení získané z měřené šikmé délky a zenitového, resp. svislého úhlu.

Totální stanice (též **elektronické tachymetry**) jsou kompaktním spojením elektronických teodolitů a světelných dálkoměrů, umožňujících sběr a přenos dat, včetně přímého připojení na počítač a jeho periferie. V současnosti představují nejčastější výbavu měřických skupin v běžné zeměměřické praxi v oblastech mapování, stavební i inženýrsko-průmyslové geodézie. Základní metodou použití je polární metoda, doplněná trigonometrickým určením převýšení.

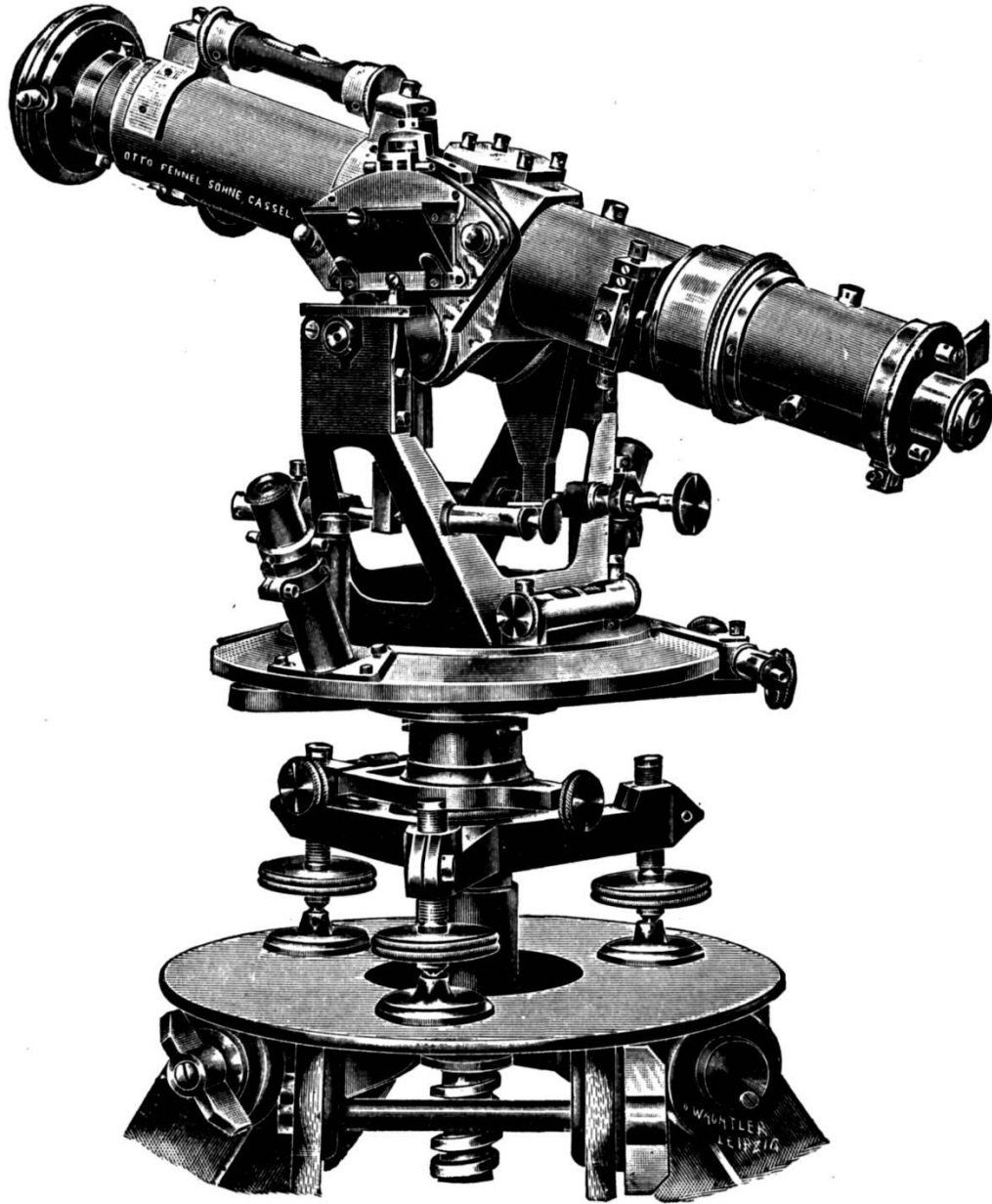
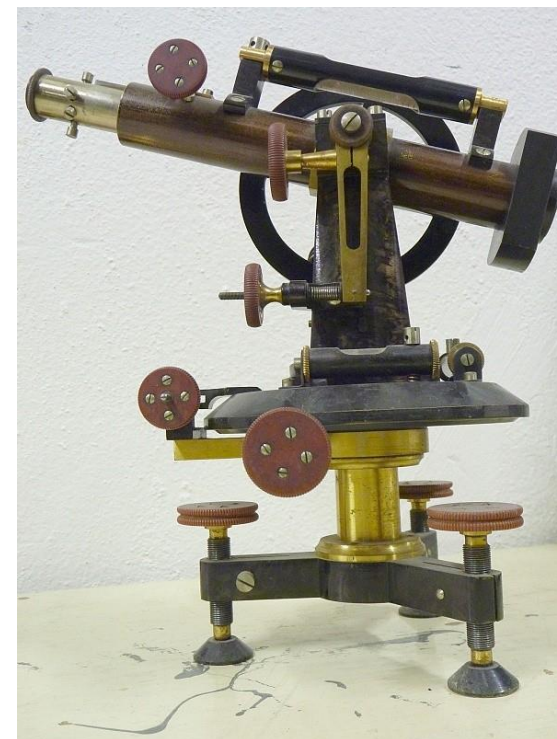


Abb. 260. Tachymeter Hammer-Fennel.

Tachymeter Hammer-Fennel

Tachymetr Frič (Zdroj: VHÚ Praha)



Tachymetr Starke - Tichý (2. polovina 19.století)

Fotogrammetrie a dálkový průzkum Země

Fotogrammetrie

Zasahuje mj. do oblasti:

- vývoje a výroby fotocitlivých filmů, později pak CCD aj. senzorů,
- vývoje a výroby kamer a s tím souvisejících optických a elektronických prvků,
- vývoje a výroby nosičů kamer,
- vývoje metod zpracování fotografických snímků a s tím spojených vyhodnocovacích přístrojů a zařízení,
- ...

Fotogrammetrie

Fotogrammetrie umožňuje rekonstruovat ze dvou centrálních průmětů jeho ortogonální obraz.

Podstata tohoto postupu byla již známa před vynalezením fotografie.

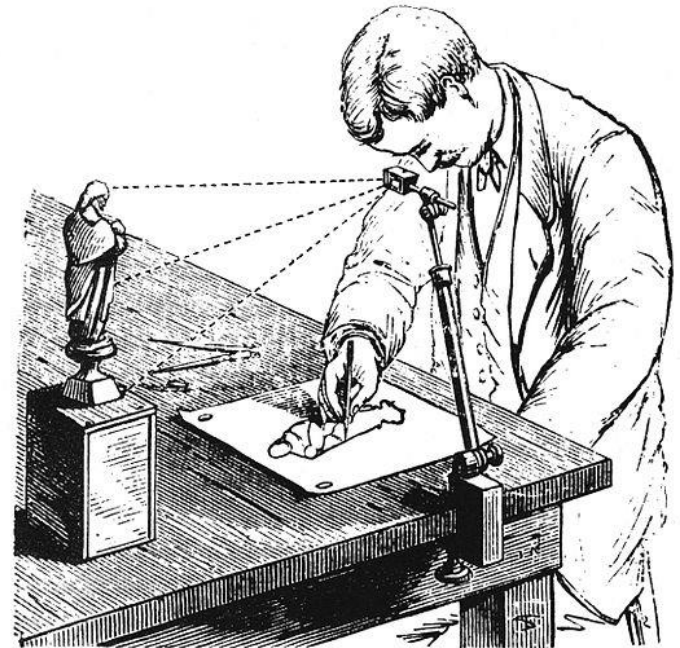
Kresby k vyhodnocení se získávaly buď jako skica, nebo kopie obrazu vytvořeného na matnici temné komory (camera obscura), známé již v 16. století, nebo metodou světlé komory (camera clara).

Francouz **Charles Francois Beautemps-Beaupré** (1766-1854) zhotovil polohopisné mapy ostrovů ze dvou kreseb pořízených na koncových bodech základny metodou světlé komory (camera clara, resp. lucida).

Použitou vyhodnocovací metodu nazval fotografickou **ikonometrií**, kterou lze považovat za přímého předchůdce fotogrammetrie.

Camera clara (lucida)

http://www.youtube.com/watch?v=8-gSPjrjQY&feature=player_embedded



Fotogrammetrie

- **Aimé Laussedat** (1819 – 1907) je spolu s **Albrechtem Meydenbauerem** považován za jednoho ze zakladatelů oboru fotogrammetrie.
- Vyvinul algoritmus, pomocí něhož se dají fotografické snímky terénu, zejména z výšky, převést na ortogonální obraz. V roce 1851 vydal svou teoretickou práci „*Métrophotographie*“.
- V roce 1861 jako první použil fotografické snímky pro topografické účely při mapování v okolí Paříže.

Fotogrammetrie

Dalším vývojovým stupněm fotogrammetrie se stala stereofotogrammetrie, kterou zavedl **Carl Pulfrich** (1858 – 1927), vědecký spolupracovník Zeissových závodů v Jeně.

Využil při ní k vyhodnocování snímkových dvojic stereoskopické schopnosti lidského zraku (tj. ze dvou snímků téhož místa vytvořit prostorový obraz).

V roce 1901 zkonstruoval přístroj zvaný stereokomparátor, čímž došlo k faktickému přechodu od průsekové fotogrammetrii ke stereofotogrammetrii.

Kamery

Už kolem roku 900 využívali islámští učenci zobrazovací schopnost dírkové kamery (camera obscura), kterou v 16. století značně vylepšil Leonardo da Vinci.

Krátce poté byly do otvoru této kamery obscury vsazeny čočky. Problémy s uchováním obrazu se však podařilo řešit až o několik století později.

V roce 1930 pro zvětšení snímkaného území postavila firma **Zeiss** leteckou automatickou čtyřkomoru. Stejný problém řešila firma **Photogrammetrie** z Mnichova stavbou komory s 1 centrálním a 8 okolo symetricky umístěnými objektivy.

Od roku 2010 je snímkování prováděnou již pouze digitálními kamerami a byla tak ukončena mnohaletá éra snímkování na fotografický materiál. Od roku 2009 se VGHMÚř aktivně podílí na projektu tzv. leteckého laserového skenování (LLS) území ČR.

Filmové materiály

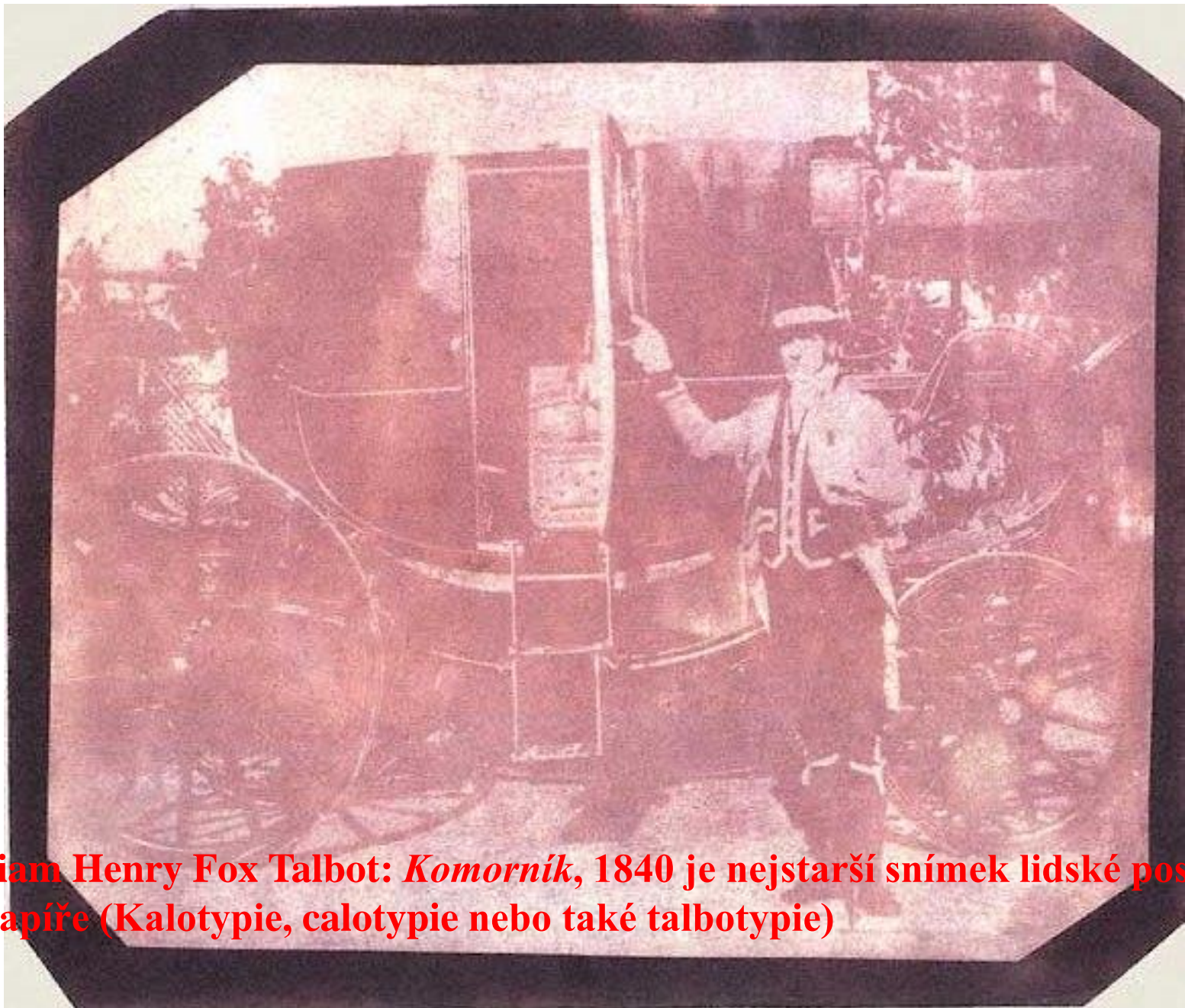
- Francouzi **Josephu Niepcemu** (1765 – 1833) se 9.5.1816 podařilo provést první reprodukce obrázku na cínovou desku potaženou asfaltem (Judenpech), který je citlivý na světlo.
- Kombinoval staré chemické a optické postupy až konečně získal pomocí kamery negativní snímky, ale ustálit (trvale uchovat) je dokázal až v roce 1826. **Do tohoto roku klademe první zachovanou fotografii v historii.** Niepce je pokládán také za autora metody leptaného tisku tzv. heliografie.

Filmové materiály

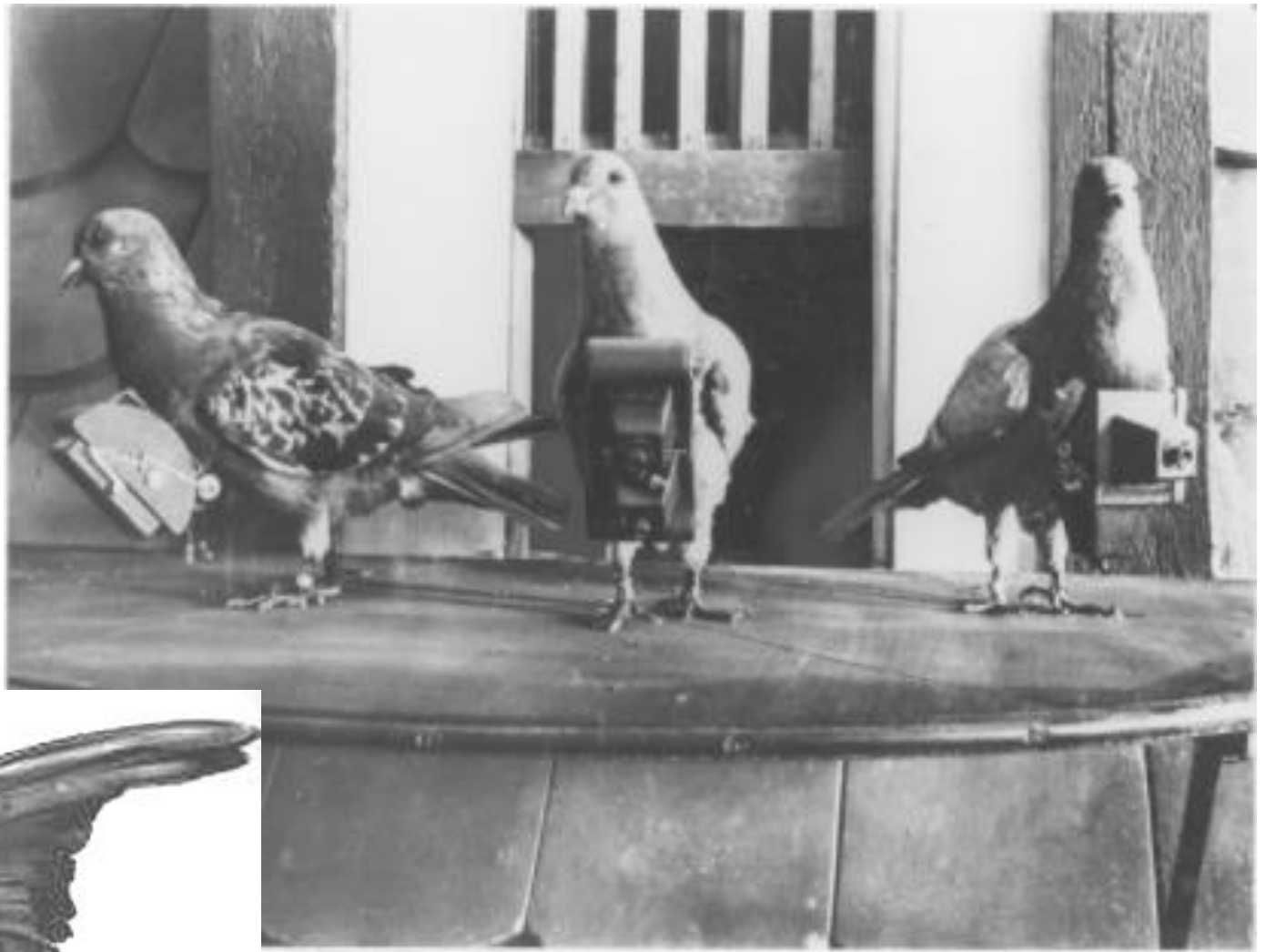
- Francouz **Louis Jacques Mandé Daguerre** (1787 – 1851) představil v roce 1838 veřejnosti fotografii na postříbřených měděných deskách ošetřených parami jódu, kterou vyvinul s Niepcem.
- Jeho konkrétní přínos spočívá v objevení metody ustálení obrazu na desce (1837), tzv. **daguerotypie**. Umožňovala vyrobit pouze jednotlivé stranově obrácené pozitivy.
- Se světlocitlivými materiály experimentoval v roce 1839 i **Henry Fox Talbot**. Podařilo se mu pořizované obrázky ustálit solným roztokem či thiosanem sodným. Namísto jednorázových pozitivů získal negativy, ze kterých bylo možné kontaktním postupem při osvětlení slunečním světlem vyrobit libovolné množství obtahů. **Mimoto přinášela talbotypie (též kalotypie) snímky stranově správné a ne zrcadlové otočené jako u daguerotypie**. Talbotypie tak daguerotypii brzy vytlačila.



Nejstarší dochovaná daguerrotypie: **Français** : *L'Atelier de l'artiste* : un daguerréotype de 1837, réalisé par l'inventeur de ce procédé photographique, Louis Jacques Mandé Daguerre (1787-1851).



William Henry Fox Talbot: *Komorník*, 1840 je nejstarší snímek lidské postavy na papíře (Kalotypie, calotypie nebo také talbotypie)



Počátky fotografického
průzkumu

Počátky fotografického průzkumu

- 1794 – první balónová vojenská jednotka vznikla ve Francii. Znamenala první vědomé používání technických prostředků pro dálkový průzkum nepřátelských pozic ve vojenství.
- 1858 – Tournacone (fotografie z balónu vesnice Bièvre u Paříže)
- 1860 – J.W.Black (fotografie Bostonu z balónu)
- (1906 až 1908) – na našem území snímkoval z balónu poprvé Jan Plischke oblast dnešního Výstaviště v Praze)

Počátky fotografického průzkumu

- 1849 – A.Laussedat připevnil fotografickou kameru na draka a získal tak první fotografické snímky z výšky (bez přítomnosti člověka),
- 1903 – J. Neubronne získal patent na fotografování zemského povrchu s pomocí holuba,
- 1. světová válka - rozvoj letecké fotografie,
- Období před 2. světovou válkou - část území dnešní České republiky na leteckých měřických snímcích,
- Po 2. světové válce – letecká i družicová fotografie (první kroky raketové techniky, využívání radaru, využívání infračerveného záření pro sledování zdravotního stavu vegetace,
- 1957 – sovětská družice Sputnik,
- 12. dubna 1961 – ve vesmíru Jurij A. Gagarin.

Fotogrammetrie

- Snímky byly pořizovány z balónů a vzducholodí. První snímek pořízený z letadla vznikl 24. dubna 1909 v Cantonelli u Říma. Jeho tvůrcem byl průkopník letectví W. Wright. Poté došlo ke stagnaci leteckého snímkování.
- Až ve 20. letech se o letecké snímky začali více zajímat geografové. U nás byly první pozemní fotografické snímky pořízeny prof. K. Kořistkou v roce 1862.
- První světová válka způsobila masový rozvoj letecké fotogrammetrie. V té době byly vyhodnocovací přístroje vyráběny v Německu, Francii, Itálii a SSSR. Až čtvrtina letadel byla za války používána k pořizování snímků a následným taktickým účelům.
- V roce 1920 se letecké snímky začaly používat k interpretačním účelům, zejména k lesnickým účelům. V následujících letech se interpretační záměry promítly do archeologie, geologie, zemědělství a glaciologie.

Fotogrammetrie

- Ve 30. letech 20. století došlo dále k rozvoji analogových metod v letecké fotogrammetrii: překreslování snímků rovinnatého území, stereofotogrammetrické vyhodnocení, aerotriangulace na analogových přístrojích (multiplex, autograf), byl vyvinut širokoúhlý měřický objektiv s maximálním úhlem záběru $90 - 100^\circ$.
- Před druhou světovou válkou bylo letecké snímkování využíváno k expedičním pracím. Byly prozkoumány dosud neznámé oblasti v těžko dostupných podmínkách, letecké výpravy byly posílány např. i do polárních krajů.

Fotogrammetrie

- První stereoskop sestrojil v roce 1838 anglický vynálezce **Charles Wheatstone**.
- **H. L. Ferdinand von Helmholtz** sestrojil **zrcadlový stereoskop** (1857). Rozšířením pozorovací základny docílil zvýšení stereoskopického vjemu a možnosti pozorování větších předloh (zejména fotografických snímků).
- Profesor **I. Porr** zkonstruoval **fotogoniometr** (1871), teodolit, který záměrou objektivem fotogrammetrické kamery měří na fotodesce úhly potřebné k vyhodnocení průsekové fotogrammetrie. Nezávisle téměř shodné řešení navrhl roku 1869 **Koppe**. **Eggert tento postup nazval fotogrammetrií měřického stolu**.
- **L. P. Paganini** zveřejnil roku 1889 konstrukci **phototeodolitu** s excentrickým dalekohledem a alhidádou. Vývoj byl zahájen 1878 pod velením gen. A. Ferrera. Přístrojem byla vyhotovena mapa apeninských Alp v měřítku 1 : 25 000. Centrický dalekohled, v podstatě teodolit umístěný na komoře, a posuvný objektiv zavedl plk. Hübl po roce 1900.

Vývoj **stereoautografu**, který zobrazoval polohopis i výškopis (vrstevnice) je spojen se jménem **Eduard von Orel**.

První model jeho přístroje (původně autostereografu) zhotovila firma Rudolf a August Rost ve Vídni roku 1908. Další zdokonalení přístroje provedla v letech 1909 a 1911 firma Zeiss v Jeně.

V souvislosti s konstrukcí a výrobou **stereoautografu** Orel-Zeiss (vzor 1911) lze již hovořit o používání **metody pozemní fotogrammetrie** při topografickém mapování.

Fotogrammetrie



Fotogrammetrie

Stereoskop je přístroj se dvěma optickými soustavami určený k pozorování dvojice obrazů sestavených tak, aby každé oko vnímalo jen jeden obraz ze dvojice tzv. stereoskopických obrazů; vzbuzuje dojem prostorového vidění obrazů.



Počátky dálkového průzkumu

- 1960 – vypuštění družice TIROS – 1 (počátek družicového DPZ),
- 60. léta 20. století – množství dat pořízeno z družic Apollo, Gemini, Mercury (z původně komunikačních družic se formují družice geostacionární),
- 1972 – ERTS (později Landsat) představoval nástup DPZ v civilní sféře,
- 80. léta 20. století – na oběžnou dráhu jsou vypouštěny družice s přístroji konstruovanými pro široké civilní vědecké využití. Šlo především o americkou družici LANDSAT 5 (1984), francouzský SPOT 1 (1986), některé sovětské (ruské) družice série KOSMOS, japonský MOMO 1 (1987), indický IRS-1A, ERS (European Radar Satellite, radar se syntetickou aperturou SAR a další,
- 2002 – evropská družice ENVISAT získává první družicová hyperspektrální data.

Počátky dálkového průzkumu

První černobílou fotografií Země pravděpodobně pořídila 14.8.1959 americká družice Explorer 6 (zanikla v roce 1961) z výšky přibližně 27 200 km. Šlo o snímek střední části severního Pacifiku.

(Televizní skener oblačnosti tvořil fotočlánek umístěný v ohnisku sférického konkávního zrcadla. Televizní snímek vznikl skládáním řádků získaných při rotaci družice.)

„Drony“ už jsou tady dlouho

První historický dokument nalezený v archívu Geografického ústavu (GgÚ) ČSAV je datovaný rokem 1965.

*V něm se MNO povoluje GgÚ ČSAV letecké snímkování za podmínky, že bude použito „*len upútaného vznášadla a nie vrtuľníku alebo lietadla*“ a že budou ministerstvu oznámeny prostory, v nichž k fotografování dojde.*

Model R-76



Ve spolupráci GgÚ ČSAV a Svazarmu Brno bylo vyrobeno „**bezpilotní letadlo M-74**“ (s pevným křídlem), které bylo v řadě exemplářů dodáno výzkumným ústavům v zahraničí a jejich podrobná projektová dokumentace byla podkladem, pro konstrukci dalších podobných nosičů v Československu.

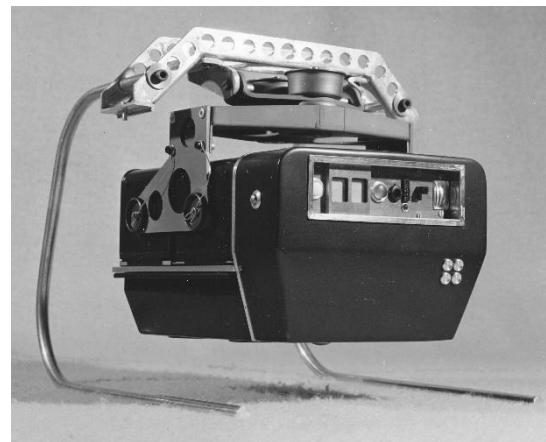
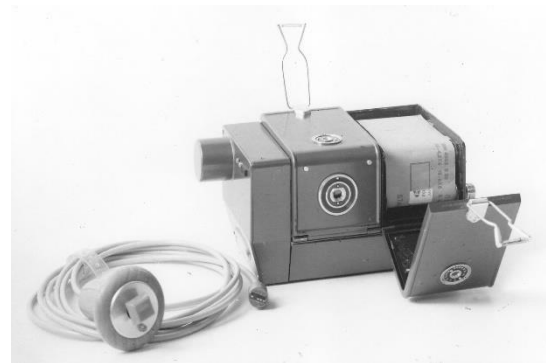
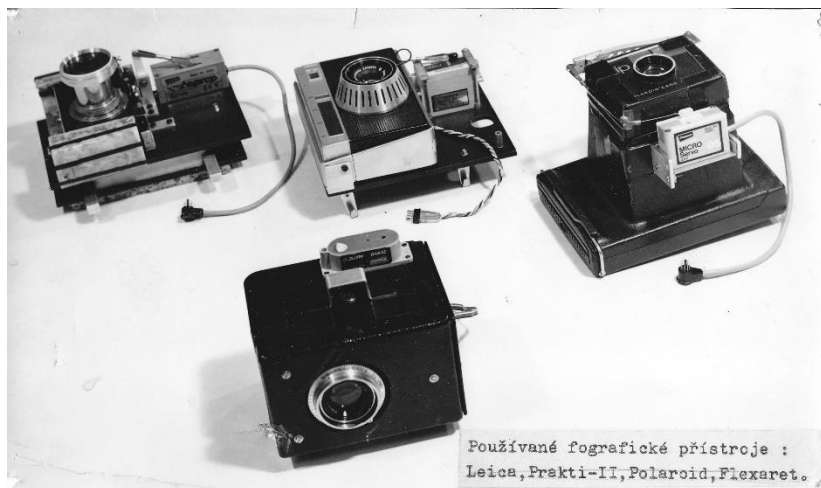
Samotné pracoviště však preferovalo stroje s „padákovým“ křídlem.

Rogallo 1977 a Rogallo 1981



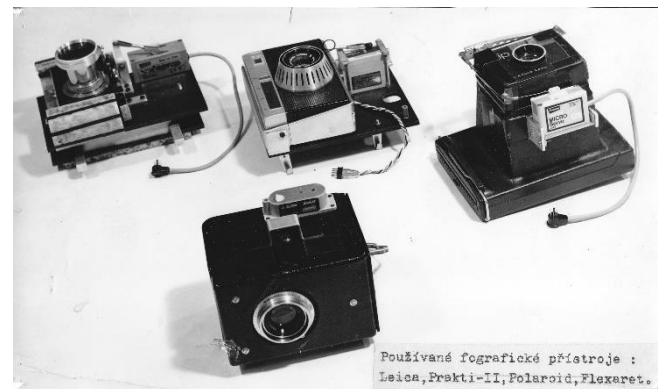
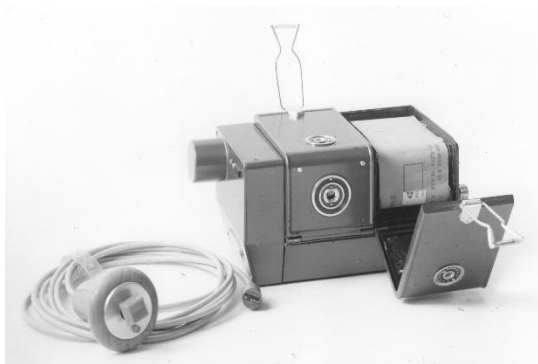
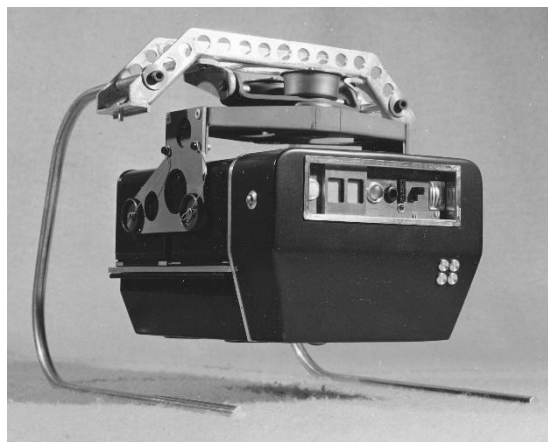
Model byl vybavený motorem o objemu 10 cm^3 , délka trupu 90 cm , rozpětí křídla 180 cm a hmotnosti $5,5 \text{ kg}$ včetně fotografického přístroje. Padákové křídlo o ploše $3,24 \text{ m}^2$ s rozpětím 280 cm , trup 100 cm a celková hmotnost 13 kg (po úpravě až $16,5 \text{ kg}$), motor o objemu 15 , resp. 35 cm^3 .

Kamery



Leica, Prakti II, Polaroid a Flexaret v jedno-, dvou a čtyřkanálovém provedení

Kamera Flexaret M-6



Zdroje

- Benešová, V., Busta, J, Václavíková, M.: Mapovanie. Učebnice pro SPŠ stavební. ISBN 80-85331-02-0, Bratislava 1991
- Honl I. - Procházka E.: Úvod do dějin zeměměřictví. 7 dílů. Praha, Ediční středisko ČVUT 1979-1991.
- Čs, komise 1A pro FIG (ved. aut. kol. Klimeš M. - Nejedlý A.): Kapitoly z historie geodézie v Československu. VUGK OBIS Bratislava. a)1945 - 1987. Bratislava 1988, 332 s. b) 1918 - 1945. Bratislava 1990, 236 s.
- Hánek, P.: 250 století zeměměřictví. (Data k dějinám zeměměřictví). Klaudian Praha, 2000, dotisk 2001
- Hánek, P.: Data z dějin zeměměřictví: 25 tisíc let oboru. 2. vyd., Praha, Klaudian 2012, 159 s., ISBN 978-80-902524-4-8
- Hojovec, V. a kol.: Kartografie. Učebnice VŠ. Praha 1987
- Huml, M., Michal, J.: Mapování 10. Skriptum ČVUT Praha 2000
- Jozef, M., Nejedlý, A., Priam, Š.: Geodetické základy: Historický přehled. Slovenská spoločnosť geodetov a kartografov, Geodetický a kartografický ústav Bratislava. Bratislava: GKÚ, 2006, 332 s., ISBN 80-231-0357-1
- Maršík, Z.: Dějiny zeměměřictví. Skriptum FAST VUT Brno 1998
- Maršíková, M., Maršík, Z.: Dějiny zeměměřictví a pozemkových úprav v Čechách a na Moravě v kontextu světového vývoje. 1. vyd. Praha, Libri 2007, 182 s. ISBN 978-80-7277-318-3
- Murdych, Z., Novák, V.: Kartografie a topografie. Učebnice VŠ. Státní pedagogické nakladatelství, Praha 1988
- Němec, V.: Učebnice dějepisu. <http://www.dejepis.com/ucebnice/>
- Neset, K.: Důlní měřictví I. Učebnice VŠ. SNTL Praha 1966
- Pokora Matěj a kol.: Geodézie pro stavební fakulty. Učebnice. Praha 1984
- Štěpánková, H.: Dějiny zeměměřictví. Učební texty, Institut geodézie a důlního měřictví, HGF, VŠB-TU Ostrava, 2002, 43 s.
- <http://www.ucebnice-dejepisu.ic.cz>
- <http://www.wikipedia.org/> (v různých jazykových mutacích)